

# 物質交代の系統的指導

新潟県立教育センター所員	小 林 敬
三島郡三島町立三島中学校教諭	小 島 哲 夫
白根市立白根中学校教諭	村 沢 淳
長岡市立南中学校教諭	塩 浦 寅 夫

## 1 はじめに

中学校の新指導要領では、第2分野の目標のひとつにエネルギー概念の導入をあげており、それによって生物領域の内容がこれまでとはかなり違ったものになってきた。生物のエネルギーを扱うときには物質交代が中心になる。田辺<sup>1)</sup>らは1968年から2年間にわたって、小学校で物質交代の考え方をとり入れた場合の授業展開を実践研究しているが、このようにして育成された自然認識を中学校ではどのように受けとめ深めていくか、またさらに、高等学校では中学校での学習が、どのように生かされていくことが必要なのか、その検討なしに、中学校における学習内容をきめることはできない。

小林<sup>2)</sup>はかつて、小学校における「植物のつくりとはたらき」の指導について問題点を吟味し、問題解決の過程と基本的な科学概念のむすびつきの重要性をとりあげて、改めて光合成の学習における小・中・高の一貫性を論じたことがあった。<sup>3)</sup>すなわち、これまでの指導過程における多くの重複が、必ずしも概念の深まりに役立ってはおらず、重複されない部分のとりあげ方に飛躍があって探究のすじ道に沿っていないということがおもな論点になっている。そして生命現象のとらえ方をレベルに分けて、小学校で、生長や行動などが個体としてどのような法則性に支配されているかをとりあげたあとに、中学校では、組織や細胞の問題としてもとりあげられるようにし、これを高等学校における分子レベルに、あるいは集団レベルの探究につなげていく、という学習展開の構想について述べた。

以上のようなことからわれわれは、小・中・高の一貫性を考えた指導過程を背景として物質交代の課題をとりあげ、中学校における学習内容をどのように系統化すればよいかということについて実践研究してきた。ここでは特に指導の実践例を中心として、系統的な指導における問題点について報告する。

## 2 指導計画

教材の系統ということは、当然探究の過程の重視ということが伴っている。正しい探究なしに正しい概念は得られない。しかし、これを現行指導要領のわくの中で実践し検討しようとする、多くの問題が派生し、われわれの研究もそれによってかなりの制約を受けざるを得なかった。物質交代についてとりあげるのは、現行でも2年生で、ここでは「つくりとはたらき」という内容になっている。「つくりとはたらき」という単元である以上、「つくり」が主で「はたらき」が従となるのはやむを得ない。しかしわれわれのねらいは「はたらき」についての概念を深めていくことにあり、「つくり」は「はたらき」のための合目的性を考えながら理解するということで、どちらかといえば従となる。これは時には

教科書から大きく離れてしまうことを意味するし、同時にノートづくりや、ディスカッションもふくめて、教科書によらない新しい学習指導法の適用も意味する。このようなことに対する生徒のとまどい、さらに現実的には評価の問題などもはじめから慎重に考えておかねばならないことであったが、もっとも大きな問題は、学習の展開を左右する「探究の課題の発見」すなわち「問題の把握」ということであった。既習経験によって正しい概念が身についていれば直ちに問題として意識できるものでも、そうでない場合、全く問題となり得ないこともあるであろう。たとえば、新指導要領による学習をつづけて小学校をおえた者と、現在の生徒では、問題意識が相当にちがうはずである。だとすると、問題設定のいかんによって、その問題は現在の生徒には適当であっても、次にはもう無意味になるかもしれぬ。

そこでわれわれは、現段階では、もっとも素朴な興味や関心を出発点とすることによって既習経験を問わない問題設定を試み、ここから探究のためにふさわしい課題をひろいあげていくことにした。すなわち「生きているということは、どういうことなのか」という問いかけを導入すれば、小学校の児童でも、高等学校の生徒でも、それなりに解答ができ、たしかめるべき問題、あるいは、疑問に思ふ問題がおのおの明らかにされるであろう。われわれの中学2年を対象とした調査結果の一例を次にあげてみよう。

[生きているということはどういうことか]		[死ぬとはどういうことか]	
1 呼吸する	32	1 心臓がとまる	18
2 動く	23	2 呼吸しなくなる	17
3 食べる	17	3 動かなくなる	13
4 心臓が動く	7	4 脳波がとまる	10
5 体温が一定	5	5 体温がさがる	8
6 感覚器がはたらく	4	6 細胞がとまる	5
7 細胞が活動している	4	7 内臓諸器管の活動がとまる	4
8 光合成をする	4	8 たましいがぬける	3
9 排泄をする	3	9 考えがとまる	2
10 内臓諸器管が活動している	3	10 植物なら枯れるということだ	1

生きている、あるいは死ぬ、ということが、もともと感覚的な表現でもあるので、解答の多くが感覚的なものになっている。知的な答えはまだわずかしかでてこない。このような解答を問題化することを考えた場合、「呼吸する」ということは、エネルギー概念にただちにかかわってくるもっともとりあげやすいテーマとなる。しかし、質問が感覚的であるために、物質交代に関係したもうひとつの大きな生命現象の特徴としての「生長」が意識化されていない。小学校でも生物教材の大きな柱となっていた生長の概念を、さらに深めていくための問題化をどうすればよいか、この質問から出発する場合に、つねに残される課題であろう。

物質交代とエネルギー交代はひと組の概念であるが、現象とのむすびつきを考える場合にはこの両者を分けて考える必要も生じてくる。前述のように生きているということを経験的にとらえていくと、エネルギー概念から生命をエネルギー交代の現象として見ていくことはできるが、物質の変化や増加の系

としての生命を理解していくことはむずかしい。ことに個体のレベルから細胞のレベルへ、さらに分子のレベルにたち入って生命現象を解明するためには、エネルギー交代よりむしろ物質交代の側面の方が重要になってくるところが多い。そこでわれわれは、意識されにくく、しかも問題化しにくい物質の変化を意図的にとりあげるようにし、特に細胞内での生合成に関心をむけるように努力することにした。また、これまで物質交代というと、同化作用と異化作用の総称だとして同化作用では代表的な光合成をあげ、異化作用では呼吸をとりあげてその説明に終始することが多かったが、われわれは生命現象のあらゆる場面で、物質交代との関連を考え、常にそれを念頭においた指導を心がけるようにした。

### 3 内容のとりあげ方

はじめに呼吸から探究がはじまる場合について考えてみると、呼吸は物質の燃焼である、という考え方は一面正しいけれども、大きな認識のあやまりを伴っている。燃えることは熱の発生を意味し、生徒にとってそのこと、すなわち熱発生が、生物には、たいへん重要な働きをもっているのではないかと考える。しかし実際には熱発生は、結果としてのできごとであって、物質の分解によるエネルギーの転換のうち、直接重要なことは、分解によって生じたエネルギーが「別の合成に用いられるエネルギー」となることである。熱エネルギーはその際に生じたもので、もちろん、生体内での化学変化に関与する酸素の働きは、ある温度のはばの中でもっとも盛んであるために、その熱発生も重要なことではあるが直接的に生命現象に関与するエネルギーとはいえないであろう。呼吸に関してまず考えねばならぬ細胞レベルの課題がここにある。

次に、はげしい運動による熱発生の増加は、運動という現象を解明するための手がかりとして重要であるが、これもやはり前述と同じような誤りをもたらす可能性がある。生徒にとってちょうどそれは、蒸気機関車のように思われ、熱の発生が、石炭のもえることにおきかえられて考えられる。しかしこれも、個体のレベルではたとえ話として容認されても、細胞のレベルではどうしても問題がでてしまう。筋肉の収縮はどうしておこるのか、ということがそれである。やはりエネルギー交代とともに物質交代の考え方が確立されなければならない。

さらに、栄養とのむすびつきでは、エネルギー源としてのとらえ方の方が理解されやすく、体の維持あるいは生長のための物質という考え方はまとまりにくい。ことに栄養摂取と、細胞との間でおこなわれる消化という現象を、どのような立場でとりあげればよいかということは大きな課題である。消化は「つくりとはたらき」というとりあげ方からすれば、全く問題のない内容であるが、物質交代につなげるための意義ということになるとたいへんむずかしいのである。われわれは、最後には消化を、原型とはちがう物質にかえて膜を通過させるということにおいて、生物の膜の選択性に注目させ、ひいては原形質膜の選択性から細胞内の物質の出入りに関する法則性にまで発展させるためのバックグラウンドとすることでたいせつにとりあつたことにした。

一方、植物の物質交代では、光合成があまりにも大きな働きであるために、その意義や、合成物のはたす役割りを無視して、単にひとつの機能としての解明に力がそそがれている傾向がつよい。ことに光

エネルギーが化学エネルギーとして貯えられるという現象は、エネルギー交代の好例となっている。しかし、これもまた、光合成の意義を、単なるエネルギーの固定という一面でおわらせてしまうものである。それが、どんな生命現象とつながっているのか、という検討もたいせつにされねばなるまい。

物質交代を個体の現象としてとりあげることでは問題になり得なかったことも、細胞から分子のレベルに入ると数多い問題点にぶつかっていく。以下、それを考えながらとりあげた展開について述べる。

## 4 学習の展開

学習の内容	学習の展開	実験や観察など	備考
1. 生命活動の共通性	1. 「生きている」ということはどういうことか。 2. 「生きている」ということの共通の特徴をまとめ、発表する。 3. 生物が死んでいるとはどういうことか。 4. 「いき」をしないとどうなるか。	○ネズミ、カエル、フナ、カイコ、イトミミズ等、身近に得られる動物の観察。	○学習目標を明確にし、問題の意識化をはかる。 ○観察動物を飼育し、観察しようとする意欲と態度を育てる。 ○討論
2. 呼吸について	5. 「いき」をするということとはどのようなことか。	○カイコ、イトミミズ、カエル、フナ等を材料にした「呼吸」の実験。	○実験方法の検討を重視する。
3. 呼吸とエネルギー	6. はげしくからだを動かすと呼吸量はどうなるか。	○ヒトが安静にしていたときの呼気と運動したときの呼気のCO <sub>2</sub> 量を比較する。 ○動きのはげしい動物と鈍い動物の呼吸の比較。	○定量化によつて問題を正しくとらえるようにする。
4. エネルギー源としての食物	7. 食物が燃料であるとすれば、どれだけの仕事をすることができるか。 8. ヒトのからだと動く機械(自動車など)とくらべるとどうか。	○食物のカロリーの測定 ビーナツツ、ダイズなどの燃焼による発熱量の測定。	○食物のもつエネルギーを熱エネルギーにかえてからだをうごかす熱量としての食物について理解する。
5. エネルギー交代について	9. 「私たちが生きている」ことを「エネルギー」ということばをつかつて説明しなさい。	○ヒトのからだを機械とくらべ、エネルギー交代を理解するためのプログラムによつて学習する。(BSCS基礎編参照)	○問題意識を高める立場で扱う。 ○エネルギーという言葉に対する抵抗感をなくする。



6. 食物のゆくえ	10. エネルギー源としてとり入れた食物は、体の中に入るとどうなるか。 11. 取り入れた食物が、そのまま体をつくる物質とはならないことについてどう考えるか。	○食物のゆくえを追って、それが生きていくためにつかわれる過程を、モデル的に示してみる。	○消化 — 吸収 — 運搬 — 再合成という系統についての考えを育てる。
7. 消化と吸収	12. 食物が吸収されるまでの過程が意味することは何か。	○セロファン膜をつかつた半透性の実験。 ○酵素のはたらきと温度や P. H との関係を考える実験。	○消化器のこまかいつくりや消化酵素の種類などは簡単に説明する。
8. 吸収された養分の運搬	13. 消化・吸収された養分はどこを通つてどこに行くのだろうか。 ・血液の役割り ・毛細血管	○カエル、メダカの血流を観察する。	○毛細血管を出入りする物質について考えさせ、構造と機能の関係を理解させる。
9. 血液を循環させるしくみ	14. 心臓のはく動、脈はくから考え、心臓はどんなはたらきをしているだろうか。	○カエル、ブタなどの心臓の観察。	
10. ガス体の出入り	15. ガス体の出入りする肺ではどのようなガス交換のしくみがみられるだろうか。	○肺のつくりの観察。	○肺のつくりを進化を考えに入れながら理解する。
11. 老廃物のゆくえ	16. 物質がつかわれると、どのような物質が生じるか。	○じん臓のつくりとはたらきを図で学習する。	○つくりについては深入りしない。
12. 細胞内での物質の変化	17. 吸収された養分は、実際には、どのようなことに使われるのだろうか。	○筋肉運動についてしらべる。(ATPなどをつかう) ○細胞内での物質の分解と合成の関係を考え、推論してみる。	○物質の吸収、変化、排出ということがらを、物質交代とむすびつけて説明できるようにする。
13. まとめ	18. 動物が生活していくしくみを物質の出入りを中心とした図で表わしてみよう。		○自由に考えさせてまとめさせる。
14. 植物と動物のちがい	19. 植物の生き方を動物と比較して考えてみよう。		○植物と動物の共通点を見出す。
15. 植物の呼吸	20. 植物も呼吸していることをたしかめてみよう。	○呼吸をしらべる実験。 ○呼吸熱の実験。	

16. 植物は光合成によって無機物から有機物を合成する。	21. でんぷんはどのようにしてつくられるか。 22. でんぷんはどのようにしてつかわれるか。	○光合成の実験 陸上植物と水草をつかい、 ヨース試法、気泡計算法を 並用する。	○光合成を細胞の中の仕事として考えさせる。
17. 植物体内の物質移動	23. でんぷんの移動と、水や肥料の移動はどのようにしておこなわれるか。	○環状除皮の実験。 ○植物の組織の観察。 ○蒸散と通道に関する実験。	○物質移動のメカニズムを理解させる。
18. まとめ	24. 植物細胞における物質の出入りと、その変化のようすを、動物の場合とくらべながら、図で模式的に表わしてみよう。		

## 5 実践と考察

### (1) 動物の運動と呼吸量との関係

#### ① 本時までの学習

動物が「生きている」ことの共通な特徴をあげさせたところ「たべる」「イキをする」が多数を占めた。「イキをする」ということは、空気中の $O_2$ をとり $CO_2$ を体外に出すということを知っていたので、イトミミズ、カイコ、カエル、ネズミ、ヒトについて、ほんとうに呼吸をしているかどうか確かめることになり、その検証方法を検討させた。しかし石灰水による方法以外に進展しなかったので、他の方法を参考とさせながら、「すべての動物は呼吸をする」ことを確認して次の課題に入った。

#### ② 主題の展開

ア. 動物はからだをはげしく動かしたときと静かにしていたときで、呼吸量はどちらがうだろうか。

P: 心臓の動きが速くなりイキ苦しくなる。

P: 多くの $O_2$ を吸って、 $CO_2$ を多く出す。

P: 汗が出て、体がほてってくる。

T:  $CO_2$ が多くなるということは、はき出すイキの中の $CO_2$ 量が多いということか。

P: 呼吸回数が多くなるということです。

P: いや、はく息の $CO_2$ は $O_2$ が呼吸のために使われた結果出てくるのだから、体を使うほど $CO_2$ 量は多く出ることになる。

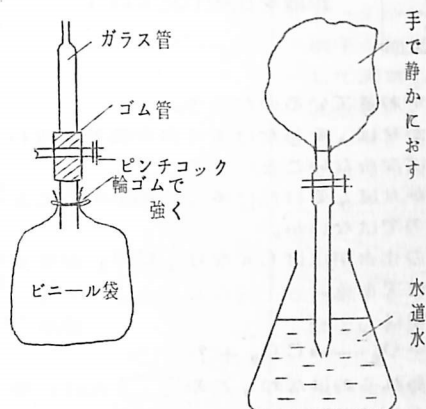
P: 多くの $O_2$ を必要とすると思うが、同体積のはく息であれば、運動がはげしくても、 $CO_2$ の量は変わらないと思う。

ここで、生徒の多くは、吸気は $O_2$ だけ、呼気は $CO_2$ だけと思っていることからくる思考のつまづきを、是正していくために、呼気、吸気の気体成分表(略)を示したのち、今の問題に対する考えを確認した。

同じだろう…12人、運動した時が多い…25人、はっきりしない…3人。

そこで、次図に示した装置で、その呼気に含まれる $CO_2$ 量を $NaOH$ 溶液による中和方法によっ

て調べることになった。



### 測定結果]

NaOH 溶液の滴数 比較区	中和に必要な滴数				呼気の CO <sub>2</sub> を 中和する滴数
	A	B	C	平均	
息をふき込むまえ	3	3	4	3	呼気をふき込む水は水道水 200 ml 使用。 呼気の回収においては、10 秒間、同じ強さで、必ず続け て吹く。
すわっていたのち	13	15	13	14	
1 分間体操したのち	13	17	15	15	
1 分間走つたのち	18	20	21	20	

グループでの話し合いを経て、次のようになった。

- はげしい運動によって、呼吸は盛んになる。
- 呼吸が盛んになるということは、呼吸回数が増えるだけでなく、呼気の中の CO<sub>2</sub> 量も多くなることである。
- からだを使うほど、多くの O<sub>2</sub> を必要とし、多くの CO<sub>2</sub> が出される。

イ. 他の動物についても、この考えが適用できるか調べてみよう。

どんな動物を使って、どのように検証するか、話し合った結果、次のような課題を設定した。

- フナが静かにしているときと、動きが盛んなときとの呼吸量を比較する。
- カイコの活動期と休眠期とでは、どちらがうか。
- フナとタニシの呼吸量をくらべる。

ここではカイコの呼吸量の測定結果についてのべてみたい。

〔カイコの呼吸量測定結果〕……次ページ表

カイコは日支 122 太，初秋産毛子を飼育したものを使用。測定方法については、「5. 各種実験方法について」を参照のこと。

カイコの令	①	②	③	平均	生体重	1g当り
3 令 期	13	11	15	13cm	3.5g	3.7g
3 令 休眠期	14	15	15	15	4.8	3.1
さ な き 期	7	7	8	7	3.2	2.2

(簡易マノメーターによって、  
5分間における、指標の移動  
距離を比較したもの)

T:どんなことが言えるだろう。

P:休眠期でも一匹あたりの呼吸量は、活動期のときより多いね。

P:体が大きいから当然だ。

P:でも、1gあたりの呼吸量は3令の活動期の方が多いいよ。

P:さなぎ期のカイコははつきりと、呼吸量は少ないが、休眠期のそれは、はつきりしないではないか。

T:ところで、活動期とさなぎ期でこのように呼吸量がちがうわけだが、体内でどうい

ちがいがおきているのだろう。

P:体を動かせば、それだけ多くの栄養分を使わなければならないことになる。

P:体を動かせば、それだけ多くの熱が出ることになるのではないか。

P:酸素との化合がはげしくなり、 $\text{CO}_2$ が多く出たわけである。

T:この現象は



と考えられるわけだね、この□とはい

たいなんだろう。 ～ 以下略 ～

### ③ 考 察

- (1) 体の動き→呼吸の活発化ということから呼吸の活発化→活動エネルギーの獲得という理解にもっていくのに、「ヒト」を使った点は有効であったと思われる。
- (2) 呼吸という現象を発熱と結びつけて指導することに問題がある。体を動かしたり、物質交代のエネルギーという本質を見失う恐れがあるからである。発熱はあくまでもロスエネルギーの現れであることに留意したいものである。
- (3)  $\text{NaOH}$ 溶液による中和方法や簡易マノメーターによる小動物の呼吸量比較実験では、中学生でも簡単に理解でき興味を示した。授業に積極的に導入すべきであると思う。

### (2) 食物の熱量の測定

#### ① 本時のねらい

食べ物が燃料とすれば、どれだけの仕事をすることができるかということで、自作したカロリー計を用いて、ピーナッツとカボチャの種子の燃焼による発熱量を測定してみる。そして食べ物を燃やすと熱がでるが、私達のからだではどうなのか、燃料を使って動く機械とくらべてみる。

#### ② 学習の展開

学 習 内 容	教師のはたらきかけ	予想される反応	留 意 点
○人間が呼吸するとき に用いる燃料につい て	○ひとの燃料は何だろうか。 この前の学習を思い出し て考えてみよう。 ○これらの食べ物は仕事を することができるだろう か。	○米・パン・肉・おかずな ど。 ○燃料だからできる。 ○燃えれば熱がでて仕事か できる。	○エネルギー的な 考えかた。



○ 燃焼による発熱量の測定実験	○ どれだけの仕事をする能力があるか測定してみよう。 ○ ピーナッツとカボチャの種子の熱量をどのようにして測定したらよいか考えなさい。 ○ どんなことに注意しなくてはならないか、考えながらやってみよう。	○ こんな装置でうまくはかれるだろうか。  ○ 水の量を正しくとる。 ○ 温度を正確に読む。 ○ 熱をできるだけにがさない。など。	○ 机上の器具を用いた装置と、実験方法について。  ○ 3回ずつ測定。 ○ 各回必ず同じような方法で種子を燃やすようにする。
○ 1グラムあたりの発熱量	○ 比較するには、どうすればよいか。  ○ 他の食べ物と比べてみよう。どんなことがいえるか。	○ 同じ重さの材料を燃やす。 ○ 測定結果を1グラムあたりの発熱量に換算する。	○ 資料の提示。
○ 人間の身体と動く機械との比較			

## ③ 学習の記録（一部）

T この前の時間、いろいろな動物が呼吸するとき用いる燃料を調べましたが、では人間の燃料は何でしょうか。

P 食べるものがそうです。

P 米やおかず。

P パン・肉など。

T では、これらの食べ物は仕事をすることができるでしょうか。

P 食べ物は、燃料だから仕事ができると思います。

P 燃えると熱がでるからできると思います。

T では、今日は、私達の食べ物がどれだけの仕事をするか、熱量をはかってみましょう。

T この前、各班ごとに作ったこの装置を使ってピーナッツとカボチャの種子でやってみよう。

T できるだけよいデータを出すためにはどんなことに注意しなくてはならないでしょうか。

P 正確にやることです。

T 正確とは？ 何を？

P 水をきちんととること。

P 温度を正確に読む。

P 何度もやって平均を出す。

T そうだ。みんな大事なことです。今日は時間に限りがあるから、それぞれ3回ずつやり、平均をとることにしよう。ほかに？

T もう一つ大切なこと、材料が燃えだしたらすぐ試験管の下へもつていき、熱をできるだけにがさないようにすることが必要です。

T では、水を10 cm<sup>3</sup>とり、今あげたことに気をつけてやってみましょう。

	重量 (mg)	はじめの水 温 (°C)	あとの水温 (°C)	水温の差 (°C)	発生した熱 (水 10 cm <sup>3</sup> ・cal)	1gあたりの熱 量 (cal)	平均値 (Kcal)
ピーナッツ	500	21	92	71	710	1400	1.6
	400	22	93	71	710	1800	
	450	20	92	70	700	1600	
カボチャ	50	22.5	27.5	5	50	1000	0.9
	50	22	27	5	50	1000	
	50	21	25	4	40	800	

T 結果からどうということがわかりましたか。

P ピーナッツのほうが、1gあたりの熱量が大きくなりました。

P カボチャの種子もだいふカロリーがあります。

T ほほう、なかなかおもしろいね。

T では、燃料としてみたとき、どちらが性能がよいでしょうか。

P はい。ピーナッツ、カロリーが多いから。

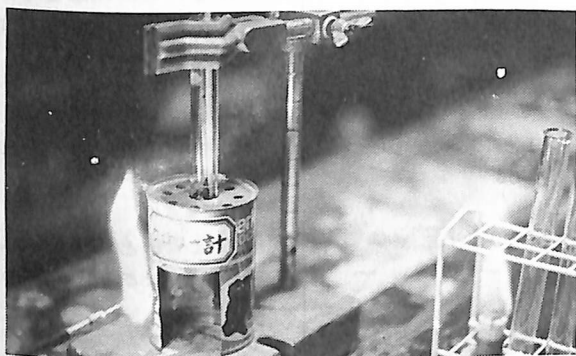
P カボチャの種子は、食べてもあまり栄養にならないんじゃないかな。

T なるほど。

T もつとほかの食べ物と比べてみよう。これは科学者たちによつて集められたものだよ。1gあたりのカロリーを出して、くらべてみなさい。

材 料	重量 (g)	食物のエ ネルギー (cal)	1gあた りのカロ リー (cal)
アーモンド	36	213	(5.9)
ココナッツ	8	43	(5.4)
ナンキンマメ	36	210	(5.8)
ピーナッツバター	16	90	(5.6)
ペカー(クルミの一種)	15	100	(6.7)
クルミ	16	100	(6.3)

(BSCS基礎編S-37より)



自作した簡易カロリーメーター

#### ④ 考 察

この実験は、動物が呼吸により使われる燃料を食物としてとり入れていること — エネルギー源としての食物 — の概念形成のために、实际的であり有効な実験である。

生徒は、食べ物が燃えて熱を出す、これはよく栄養でとりあげられる食品のカロリーと同じものであることを理解する。そして、人間の身体と動く機械とくらべるとき、食物は燃料で、呼吸は燃焼であり、呼吸により運動のためのエネルギーをとり出していることをはっきりと知ることができるのである。測定結果は、科学者の算出のものより相当に小さい値となるようだが、このような実験器具と方法では当然のことであろうし、あまり深くふれる必要もなからう。この疑問以上に、自分達で作ったこのような簡易な器具でも測定できる驚きと喜びのほうが大であった。

### (3) 動物の消化

#### ① 展開の概要

- 食物には、生活活動のエネルギー源や体をつくる物質が含まれていること。
- 食物が消化され、吸収されるまでには、多くの器管が関与していること。
- 栄養分は、大きな分子から小さな分子に分解され、小腸の柔毛から血液中に送りだされること。
- 血液中のO<sub>2</sub>や栄養分は毛細血管を通して、細胞にしみ通っていくこと。

#### ② 主題の展開

デンプンがブドウ糖にならないと、どういふ点で困るのだろう。

T: 食べたデンプンのゆくえを説明してみなさい。 P: 食道—胃—十二指腸—小腸—大腸—肛門。

T：すると，食物がみんなフンになつて……

P：おかしいね。

P：体の栄養になるものは吸収される。

P：小腸から血液中におくられる。

P：前時に学習したように，デンプンはブドウ糖になつて，血液中に送られる。

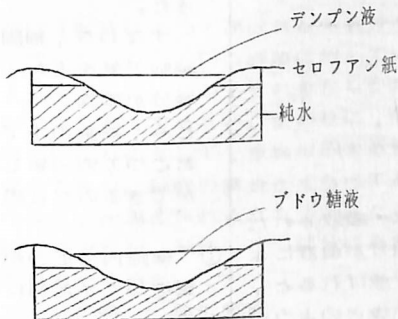
T：ところで，デンプンのままだと何か不都合なことがあるのだろうか。

P：デンプンのままだと水に溶けなく，血液によくなじまないから。

P：デンプンのままだと，粒が大きすぎて，小腸のかべや血管にひつかかつてしまう。

ブドウ糖にならないと粒が大きすぎて，小腸のかべを通過できない。

T：きょうは，このことをセロファン紙をつかつて確かめてみよう。



左図のようにセットし，約5分後に(A)(B)の反応をヨウソ溶液による反応とフィーリング溶液の反応でたしかめた。各班とも(B)はフィーリング反応を認めた。

T：どうことがわかるか。

P：デンプンはセロファン紙をしみ通ることができないが，ブドウ糖は通過できる。

P：ブドウ糖の分子は小さいことになる。

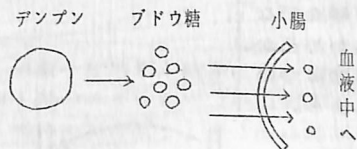
P：セロファン紙に穴があいているのですか。

P：目に見えないけど，物質が通つたのだから穴があいていることになる。

T：この実験をひとの体におきかえてみよう。

P：セロファン紙 — 小腸の柔毛  
シャーレの水 — 血液

ここで，グループごとに，デンプンの粒がブドウ糖になつて，血液に入るようすを図示させてみた。あるグループが考えた模式図を示す。



T：O班の図です。どうですか。

P：デンプンをブドウ糖がたくさん集まつたように書いた方がよいのではないか。

P：小腸のかべに穴があいているように書くべきである。

～ 以下 略 ～

### ③ 考察

物質交代に中心をおいたこの単元で，「消化」をどのように位置づけたらよいかという点に苦慮した。その結果，エネルギー源物質及び体構成物質が移動し，その物質が「膜」を通して，小腸の柔毛，血管，さらには細胞へ浸透していくイメージをはかることに意義を見出した。セロファン紙によるブドウ糖の透過実験は，簡単にセットでき，技術的操作も容易であるが，小腸というイメージを与える意味においても，セロファンチューブを作った方がよかったと思う。なお，ブタの小腸を使った，ブドウ糖の透過実験も，結果が出るのは数時間かかるが，生徒は興味を示し，演示実験として有効だったと思う。

## (4) 細胞内での物質合成

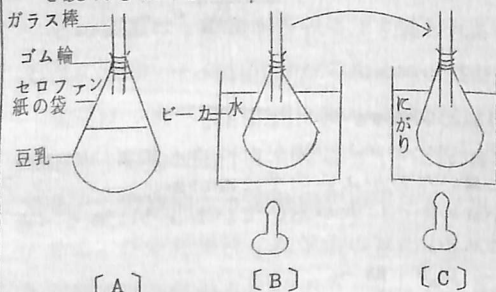
### ① 指導のねらい

消化・吸収された栄養分が血液によって組織細胞に運ばれ，生活のためのエネルギーとして使われ

る一方、細胞内で別の新たな物質につくりかえられることを、モデル的に理解させる。

## ② 学習の展開

○発問・指導	予想される生徒の反応
<p>○消化、吸収された栄養分(ブドウ糖、脂肪、アミノ酸)は血液によつて組織細胞に運ばれるとどのように使われるか。</p> <p>○予想をたてた理由やもとになることがらは何か。</p> <p>○「栄養分は細胞をつくる物質になる」ということについてたしかめたい。どんな実験を行なつてたしかめるか。</p> <p>・実験の方法について説明しよう。</p>	<p>○熱となる。</p> <p>○力になる。</p> <p>○生活のためのエネルギーに使われる。</p> <p>○細胞をつくる物質になる。</p> <p>○栄養がないと死ぬ。</p> <p>○たべると大きくなる。</p> <p>○牛や羊は草をたべると牛や羊の肉となる。</p>



① [A] を [B] のように装置し、沸騰するま

○発問・指導	予想される生徒の反応
<p>で加熱する。</p> <p>② [C] では「にがり」を沸騰するまで加熱しておき [B] からセロファン紙の袋をうつし、20～30秒加熱しつけた後、火をとめて観察する。</p> <p>[観点] [A] と [C] とを比較観察し、豆乳の中にどのような変化がおきるか。</p> <p>○実験の結果について発表しなさい。</p> <p>○実験の結果から考えられることはどんなことか。</p> <p>○消化・吸収された栄養分が血液によつて運ばれると、その後どのように使われるか。</p>	<p>○セロファン紙の袋を [C] のにがりのはいったビーカーにうつすと間もなく袋の中の豆乳内に小さい粒ができた。</p> <p>○にがりがセロファンの小さな穴をとおつて中へはいり、豆乳の中に変化がおこり、小さなつぶができた。</p> <p>すなわち、細胞でも、細胞の膜をとおつて、栄養分が細胞の中へはいりこみ、細胞の中で変化がおこつて別の新しい物質ができるのだと思う。</p> <p>① 細胞内で別の新しい物質をつくるために使われる。</p> <p>② 熱や力、その他、生活のためのエネルギーとして使われる。</p>

## ③ 授業の概略と考察

### ア. 実験以後の生徒の考え

T 実験の結果について発表してください。

P<sub>1</sub> 水の中では何の変化もなかった豆乳が、にがりの中へ入れたら、袋の中で少しずつ小さなかたまりとなつた。(全員同意)

P<sub>2</sub> 豆乳とにがりの量に変化がおこつた。豆乳が少し減少し、にがりの量が少し増加した。このことは豆乳の方からセロファンをとおして何か

がにがりの方へ出たので、豆乳の中に小さなかたまりができたものと思う。

P<sub>3</sub> P<sub>2</sub> の人の意見とは反対で、にがりの方がセロファンをとおして豆乳の方へ入ってきたので何か変化がおこり、白い小さいかたまりができたのだと思う。

以上の意見の交換のあと、時間のため授業を終了した。次の時限には結果の確認から上記 P<sub>2</sub> と P<sub>3</sub> の意見について討論をおこない、さらに実験をおこなって検討をつづけた。このことについて



P<sub>2</sub> は「にがりの量が増え、豆乳の量が減少したというのは、にがりの量を確認しておくため、ピーカーに目印をつけておいた豆乳の袋を入れ、しばらくして豆乳に小さい白いかたまりができ、もう変化がおこらなかったのを袋をひきあげたら、はじめつけた目印よりにがりの量が増えていた。そして気のせいかセロファンの中の豆乳の量も少し減っていた」とのべた。この発言に対し P<sub>3</sub> ほかの生徒が反論し、そのような討論の中で問題点がはっきりしてきた。

(ア) にがりにはセロファンの膜をとるか。

(イ) にがりのピーカーにセロファンの豆乳を入れたとき、はたして豆乳の量が減少するか。

(ウ) 豆乳ににがりをまぜたらどうか。

という3点である。そしてこの確認のために、もういちど、条件を正しくコントロールして実験をおこなってみた。その結果、次のことが明らかになった。

(ア) にがりにはセロファンの膜をとるか。

(イ) 豆乳のうち、セロファンの膜をとるものがあり、少し時間がたつとにがりの量はわずかに増加し豆乳の量は減少したようである。

(ウ) 豆乳ににがりをまぜると白いかたまりができる。

T 私たちは「血液によつて運ばれた栄養分がどのように使われるか」という課題に対していくつかの予想をたてた。しかしそれをたしかめる実験はむずかしくてできない。かわりに、現象がよく似ているものとして、豆乳が固まる実験をおこなってみた。細胞の場合とくらべてみてどのようなことが考えられるだろうか。たとえば実験装置のどれが、細胞のどの部分にあたると思われるだろうか。

P セロファンの膜 — 原形質膜

豆乳 — 原形質

にがり — 栄養

のように考えることができる。

T では、このとおりとしてもう少しくわしくお互いの関係を述べてもらいたい。

P<sub>1</sub> 「にがり＋豆乳 → 白い小さなかたまり」

＝「栄養＋原形質 → 新しい物質」

ではどうか。

P<sub>2</sub> 食物は熱エネルギーになるのだから

「にがり＋豆乳 → 白い小さなかたまり」

＝「栄養＋原形質＋酸素による酸化 → 新しい物質＋熱のエネルギー」の方が正しいと思う。

P<sub>3</sub> 「熱のエネルギー」を「生活のエネルギー」とした方がよい。

P<sub>4</sub> 細胞で新しいものができる、と、不要なものもできると思う。それをどうしたらよいか。

P<sub>5</sub> 「栄養＋原形質＋酸化 → 新しい物質＋生活のエネルギー＋不要なもの」

P<sub>6</sub> 実験の中でセロファンをとおして豆乳の方から外へ出てにがりの中に入ってきたものは細胞のはたらきでは何にあたるか。

P ……………

P<sub>7</sub> それは細胞のはたらきの中で、不要となつたものと考えたらどうか。すなわち「にがり＋豆乳 → 白い小さなかたまり＋外へ出たもの」＝「栄養＋原形質＋酸化 → 新しい物質＋生活のエネルギー＋不要なもの」そして新しい物質はからだをつくる原形質と考えればよくわかると思う。

こうして次の時間には、まとめとして細胞を工場にみたてて、つくりとはたらきをモデル的に考えさせ理解を深めさせることができた。

#### イ. 化学領域との関連

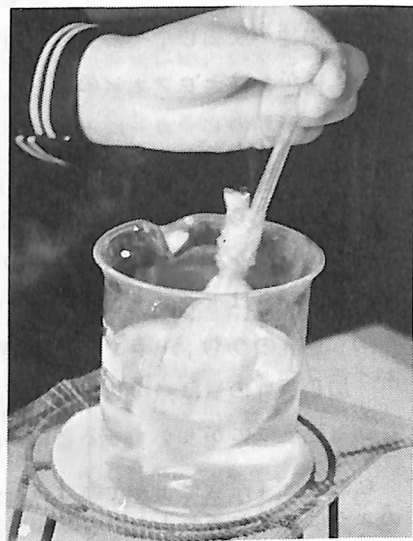
化学では、AとBをまぜて反応をみる。膜をとおしての化学変化は考えないし、その必要もない。したがって今回のような実験はない。しかし、前述のように、実験後の反応としては、生徒がひじょうに積極的に考えようとしていることがあらわれている。そして試行錯誤を重ねながらようやく

次のような結論を出すことができた。

「細胞の中では、栄養はただ生活のためのエネルギーとして使われるだけでなく、新しい物質をつくり、体を大きくしていく。」

#### ウ. 実験について

この実験によって特にたしかめられたことは、生徒が意なほどモデル的な考え方を進めうるということであった。しかし同時にそれは、観念的思考の危険性を示唆するものでもある。細胞内での変化をたしかめ得る実験もないままに、はじめのねらいどおり、細胞レベルで物質交代をあつかおうとした結果、ひじょうなむりが生じてしまった。この実験も本質は全くちがうものである。それでも生徒にとっては、ただ知識として納得するよりは、作業をとおり、変化の観察をへて映像化することで、はるかに興味深く理解し得たようであった。実験の流し方を検討すれば、現象モデルという確認において、有効なモデル実験として、とりあげてもよいように思う。



### (5) 植物の呼吸

#### ① 本時のねらい

植物と動物のちがいと共通性を調べることから、植物も呼吸していることを検証するとともに、呼吸量が多いほど成長が盛んであることを推測する。またその副産物としてでる  $\text{CO}_2$  と  $\text{H}_2\text{O}$  は、炭素の酸化、水素の酸化の産物であること、植物体の機能をとめると呼吸もとまることから、生きているものはすべて呼吸している、呼吸しているから生きていけるのだという考えにまで発展させたい。

#### ② 学習の展開

学 習 内 容	教師のはたらきかけ	予想される反応	留 意 点
<ul style="list-style-type: none"> <li>生活活動における植物と動物の共通点について</li> <li>植物も呼吸しているか</li> <li>呼吸していることを確かめる実験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>植物では、生きているということはということか、動物とくらべてみなさい。</li> <li>なにが共通しているか。</li> <li>動物の呼吸は実験でわかったが、植物も呼吸しているのだろうか。</li> <li>どんな実験をすればよいか。</li> <li>いろいろな部分で呼吸を</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>動物 動く・食べる・呼吸する・ふんをする。</li> <li>植物 水の吸収・呼吸する・養分の吸収。</li> <li>呼吸すること。</li> <li>生きているから呼吸しているだろう。</li> <li>運動などしないのでエネルギーは不必要、だから呼吸する必要がない。</li> <li>動物のときと同じようにすればよい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>動物の学習の復習</li> <li>仮説にまでもつていく。</li> <li>自作の簡易マンオメーター呼吸計を使用。</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>○呼吸量と成長の関係について</li> <li>○呼吸も酸化であること</li> <li>○活動機能をとめると呼吸も停止すること</li> <li>○生きているものはすべて呼吸している。</li> </ul>	<p>確かめてみよう。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○呼吸量はどうか。</li> <li>○どんなことがわかったか。</li> <li>○<math>\text{CO}_2</math> のほかにどんな副産物があるか。</li> <li>○活動機能をとめるとどうなるか。</li> <li>○とめるにはどうすればよいか。</li> <li>○熱湯につけて呼吸がとまるだろうか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○測定してみよう。</li> <li>○呼吸量が多い所ほど成長が盛んであるらしい。</li> <li>○<math>\text{H}_2\text{O}</math> もでている。</li> <li>○死ぬことだから呼吸もとまる。</li> <li>○殺すことだから、こまかく切る・すりつぶす・乾燥する・熱湯につける。</li> <li>○実験してみよう。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○仮説</li> <li>○材料が、完全に冷えてから容器に入れること。</li> </ul>
---	--	--	---

## ③ 学習の記録（一部）

T この前までで動物の学習を終わつたわけだが植物では生きているということはどういうことですか。動物とくらべてみなさい。

T まず、動物では？

P 動くこと。

P 食べる。

P ふんをします。

P 呼吸する。

T では、植物では？

T 共通していることはなんだろう。

P 呼吸すること。

T いま呼吸ということができましたが、植物も本当に呼吸しているのでしょうか。

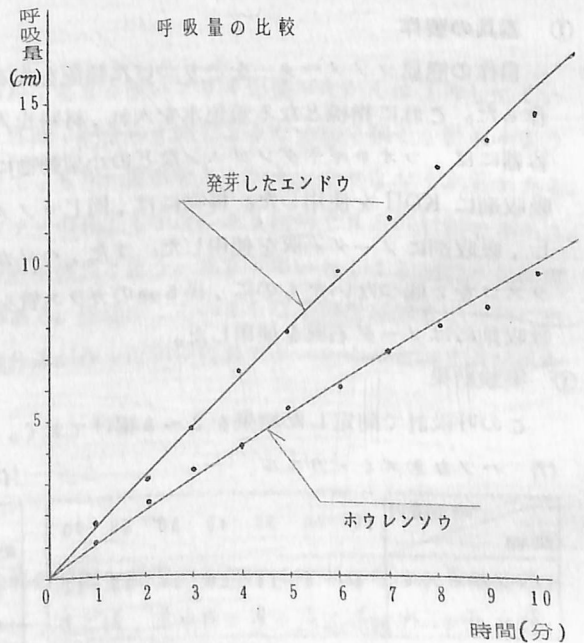
P 植物も生きているからやっぱり呼吸している

と思います。

T ではやってみよう。どんな実験をすればよいでしょうか。

（植物の呼吸を確かめ呼吸量を測定する実験）  
ハウレンソウの緑葉と、発芽しかけたエンドウの種子のデータのみ掲げておく。

材料 重さ 時間(分)	ハウレンソウ		発芽したエンドウ	
	10g	100gあたり	33g	100gあたり
1	0.1	1.0	0.6	1.8
2	0.2	2.0	1.0	3.0
3	0.3	3.0	1.6	4.8
4	0.35	3.5	2.2	6.6
5	0.45	4.5	2.6	7.8
6	0.5	5.0	3.2	9.6
7	0.6	6.0	3.8	11.4
8	0.65	6.5	4.4	13.2
9	0.7	7.0	4.6	13.8
10	0.8	8.0	4.8	14.4



## ④ 考察

この学習での実験のとりあつかいであるが、動物の呼吸を探究的実験としてとりあげているのでここでは、動物と植物のちがいと共通性より、植物も呼吸していることを検証的にとりあつかうのがよいと考えた。また定量化も動物でやっているのですぐとびこむことができる。そして、植物体のいろいろな部分の呼吸量の測定から、成長が盛んである部分ほど、呼吸量が多いことを推測させたい。また生徒は、緑葉の



— 植物の呼吸量の測定 —

呼吸量が、日光があたったときとそうでないときとで著しいちがいがあることを見出している。この疑問を深めることから光合成へと発展させることが可能であった。材料には、同一の植物体の各部分を用いたほうがよいし、前からの学習のつながりでクワをとりあげることもよい。また、熱湯処理をした植物体は呼吸が停止することは、材料が熱いうちに容器に入れると、水につけたとき、容器内の体積収縮から著しい変化が生じ、失敗することになりかねない。これは、時間的にも無理があるし、あえてする必要もないであろう。もしするのなら、かれた葉ででもするのがよい。

## 6 実験資料

## (1) 動物と植物の呼吸量の測定

## ① 器具の製作

自作の簡易マノメーターをとりつけた装置を作る。マノメーターは、内径2mmのガラス管を曲げて作った。これに指標となる着色水を入れ、材料を入れた容器に接続し、指標の動く距離を記録する。容器には、コオロギやダンゴムシなどの小型動物には、径2.4cm、深さ9cmの管びんを使用し、CO<sub>2</sub>吸収剤にKOHを使用した。植物には、同じマノメーターを径3cm、深さ20cmの大型試験管に接続し、吸収剤にソーダ石灰を使用した。また、ハツカネズミやカエルの測定容器は、300cm<sup>3</sup>の三角フラスコを2個つないだものに、径5mmのガラス管を曲げて作ったマノメーターを接続させて作った。吸収剤にはソーダ石灰を使用した。

## ① 実験結果

この呼吸計で測定した結果を2～3掲げておく。

## (ア) ハツカネズミ・カエル

時間(秒)	10	20	30	40	50	60	70
動物							
ハツカネズミ	4	8	14	20	27	35	42
カエル	2	2	2	2	2	3	4

(単位はcm, ほぼ同体重の個体を使用した。)

## (イ) コオロギ・ダンゴムシ

時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
動物										
コオロギ	0.6	1.2	1.9	2.4	2.7	3.2	3.8	4.6	4.9	5.4
ダンゴムシ	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.7

(単位はcm, ダンゴムシを8匹とり, ほぼ同体重とし測定)

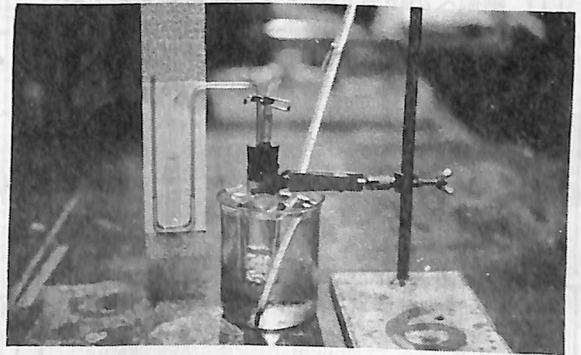


## (ウ) 植物

前掲のため略。

## ③ 実験についての考察

中に入れる材料は、できるだけ大きい(多い)ほうがよいが、あとで呼吸量を比較するためにはじめに同重量になるように調節しておくのがよい。また、どの場合にも、外界の温度変化による容器の容積の増減を考えねばならない。このため、材料を入れた容器を水中に入れ、少し時間をおいてから外界と遮断し、測定に移るようにするとよい。



— 小型動物用呼吸計 —

## (2) 食品の熱量の測定

## ① 器具の製作

かんづめのあきかんを利用して作る。かんのわきにブリキばさみで大きく窓をあけるように切り、上部の中央に試験管が入る大きさの穴をあける。かんのまわりと上部に、中で燃焼させたとき、よく燃えるように、小さな空気穴を数個あけておく。(前掲の写真参照) また、試験管の中に入るような攪拌棒を針金で作り入れておく。

## ② 実験資料

前掲のため略。

## ③ 実験についての考察

この器具のためのかんは、どんなものでもよいが、あまり硬いブリキを使ったかんは工作しにくいのでさけたほうがよい。熱量の測定においては、各回、かならず同じような方法で種子を燃やすようにする。もし、途中で火が消えたら、それはやめて、もう一度水をとりかえ、やりなおす必要がある。材料は、ピーナッツ、クルミなどがよいが、カボチャの種子も手近にあり利用できる好材料であろう。重量は、始めに統一しておくのがよい。0.2g程度が適当と思う。あまり多いと、10 mlの水の温度が上がりすぎてしまい、不正確になるおそれがある。生徒は、このような簡単な装置で、食物の熱量の測定ができることに驚きを示すとともに、自分達が作った測定器具でやったのだという満足感を持ったようである。

## 7 評価について

新しい実践を試みたとき、評価の問題やノート指導の問題を軽視するわけにはいかない。具体的にどのような評価問題を提示するか苦慮することが多いが、ここに、実施してみた評価問題の一部を抜粋して、その結果について若干の考察を加えてみたい。なお対象は2年2クラス(男41 女39 計80名)

とし、自由記述式を原則とした。

〔1〕細胞への物質の出入りの理解をみる。

●細胞の中にどんなものが入り出すか、図の中へ矢印を使って示しなさい。

- |   |                       |     |
|---|-----------------------|-----|
| A | $O_2$ が入り $CO_2$ が出る。 | 18名 |
| B | 栄養分が入り 不用物が出る。        | 7   |
| C | A, B 両方を示す。           | 43  |
| D | その他。                  | 4   |
| E | 回答なし。                 | 8   |

●細胞をつつむ膜があつても、物質の出入りがおこなわれるのはどうしてでしょう。

- |   |               |    |
|---|---------------|----|
| A | 小腸の柔毛のようなしくみ  | 5名 |
| B | 膜に小さな穴のようなもの  | 37 |
|   | があいている。       |    |
| C | 毛細血管が入り込んでいる。 | 11 |
| D | その他。          | 17 |
| E | 回答なし。         | 10 |

●細胞内でどんなはたらきがおこなわれていると思いますか。

- |   |                      |    |
|---|----------------------|----|
| A | 栄養分が貯えられる。           | 7名 |
| B | 細胞が成長している。           | 9  |
| C | 内呼吸によりエネルギーをつくるはたらき。 | 31 |
| D | B, C 両方を行っている。       | 11 |
| E | その他。                 | 11 |
| F | 回答なし。                | 11 |

〔2〕消化 — 再合成の理解をみる。

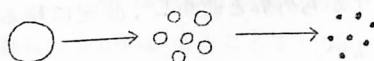
●食物が消化し、からだのすみずみにゆきつく過程を粒の図で示して、簡単な説明を加えなさい。(書き方についての指導を若干行なった後に記述させた。)

① 単純型……………(12名)

(食物) (消化) (細胞内)



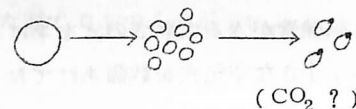
② 分解吸収型 ……(31名)



③ 分解再合成型……………(17名)



④ 酸化放出型 ……(15名)



※回答なし(5名)

( $CO_2$  ?)

細胞レベルでの物質交代が指導上の大きな課題であったが、モデル的な実験を試みたものの、修正しなければならない点が多く、物質交代のイメージアップを充分果たせ得なかった。調査結果では、細胞への物質の出入りを人体へのそれとおきかえてとらえている点がかがわれるし、原形質膜への浸透性の点も、セロファン紙による小腸柔突起のモデル化から、かなりの理解度を示している。

細胞内でははたらきとして内呼吸 — エネルギー交代の意義をとらえているものの、物質の再合成 — 細胞の成長という重要な役割を見失っている生徒が多い点を指摘しなければならない。また、模式的に表現する能力はかなりついており、大部分が上述のような形で示すことができた。しかし、ここでも③, ④が比較的少ない点も指導上反省しなければならない。

〔3〕呼吸の意味について

●ひとが静かにしているとときと運動したときとで、はき出す  $CO_2$  量にどれ位のちがいがあるか次のような実験を行ないました。実験結果(前出参照)をみて答えなさい。( )内は80名中の正答数を示す。

〔4〕エネルギー交代について

●次の( )の中に適当なことを選んで、記入しなさい。

動物は活動のエネルギーのもとを(①)としてとり入れており、そのエネルギーのいくらかは体の(②)に貯えられる貯蔵エネルギーとな

① この実験で対照実験はあつたことになるか。(71)

②  $\text{CO}_2$  量の多少はからだの活動とどのような関係があるか。(75)

③ 呼吸という現象を他のものに例えて説明してみよ。(62)

④ 呼吸量がましても、それほど体温があがらないのはどうしてか。

●汗によつて熱がにげた。54名

● $\text{CO}_2$  となつてなくなつた。12

●血液の移動に熱がつかわれた。4

●運動そのもののエネルギーにつかわれた。60名

●筋肉へ栄養を補給するエネルギーにつかわれた。15名

●体温を調節する神経があるから。12

●その他。15

●回答なし。8

る。それが活動のエネルギーとして利用できるのは(3)によつてである。

●このはたらきはエネルギー源物質が酸素と化合する(4)現象でもある。その時発生した(5)は熱エネルギーになつたり、(6)となつたりするのである。

[ 選択群 ]

a 心臓 b 細胞 c 二酸化炭素

d 食物 e 運動エネルギー f 太陽エネ

ルギー g 化学エネルギー h 光合成

i 呼吸 j 消化 k 酸化

[ 正答数 ]

① 食物 65名

② 細胞 62

③ 呼吸 70

④ 酸化 65

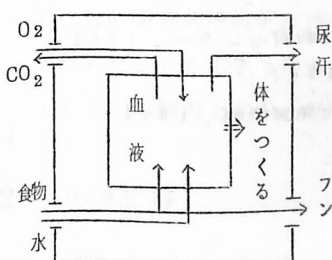
⑤ 化学エネルギー 54

⑥ 運動エネルギー 59

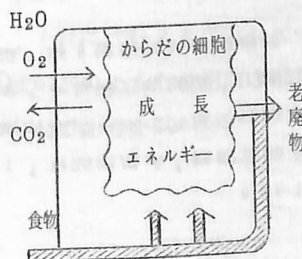
呼吸によって生活々動のエネルギーを獲得していることを観念的に把握するのではなく、運動との関連において学習をすすめていった点は、エネルギーという問題をつかむ上に重要な素材であつたと思われる。ここで問題になるのは、エネルギー＝発熱ととらえてしまうことである。事実「汗によって熱が発散した」と答える生徒が多いことではあるが、あくまでも「活動そのもののエネルギー」にまで理解を深めていく必要がある。

[5] からだのはたらきの総合的理解。(物質の出入りを中心として模式的に書かせたものから、比較的、まとまっているものを示した。)

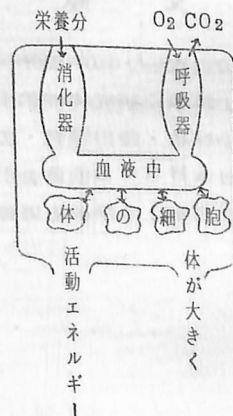
(A君)



(S君)



(Y子)



## 8 あとがき

この研究は、はじめにも述べたように、現行指導要領のわくに制限されて、かならずしも満足の得られるものではなかった。ことに、われわれが、導入をどうすべきかということを論議している時にも授業は進めていかねばならず、これが、系統性をテーマとした時の大きな障害になってしまった。動物の呼吸から探究をはじめようと思った時には、すでに植物の光合成をおえてしまった者もいた。しかし「生きているということはどういうことか」ということにはじまる探究は、常に物質の出入りや変化という現象からはなれることがなく、物質交代に直結する課題としてきわめてよい問題設定であった。生徒はまだ探究ということになれていない2年生であったが、興味をもってこれまでよりはるかに積極的に学習に参加した。一部の生徒に、この学習でおこなった実験の中で、どのようなことがもっとも印象にのこったかをたずねたところ、次のようなことがあげられた。

- 今まで呼吸なんかしていなかったと思っていた植物も呼吸していたという事実がはっきりわかったこと。
- ピーナッツなどの食品に意外なほど多くのカロリーがあり、それが簡単に測定できたこと。
- ネズミやアメリカシロヒトリなどを実験用として飼育したこと。
- 生きているということがどんなことかだいたいわかったけれど、不思議なこともたくさんできたこと。

などである。

これで、動物に関する物質交代を探究する過程はひととおり系統化をはかることができたが、植物については、まだほとんど検討を加えていない。しかもはじめに考えた構想にくらべ、やはりエネルギー概念の方が強調されすぎているようである。まだ未完の研究として、今後もお研究をつづけていきたいと思う。

おわりにあたって、この研究に対し、終始われわれをはげまし、ご援助くださった三島中学校長宮下隆二先生、白根中学校長栗賀貫次先生、長岡南中学校長石根忠孝先生に心から感謝の意を表する。

## 文 献

- 1) 田辺雄一・田中慎子・池内周三：研修員研究集録第6集，新潟県立教育センター，1968
- 2) 小林敬：研究集録第1集理科研究編(1)，新潟県立教育センター，1967
- 3) 小林敬・藤田暉輔・広野樹：全国理科教育センター研究協議会研究発表集録，1968
- 4) 日本BSCS委員会：BSCS生物基礎編，学習研究社，1969
- 5) 文部省：中学校指導書理科編，1970